

лургическо-цементный завод и др.). Однако совершенствование металлургического производства привело к ликвидации этого агрегата.

Многочисленные работы, проведенные на заводах минераловатного производства, позволили перенести проверенные технические приемы и новые технические решения на их шахтные плавильные печи.

Результаты исследовательской работы на ОАО «Билимбаевский завод термоизоляционных материалов» позволили на минераловатной вагранке с холодным дутьем при заданном производстве 3 т/ч обеспечить удельный расход кокса не выше 180–200 кг/т расплава, а после установки и модернизации отдельного воздухонагревателя с температурой подогрева до 450 °С опуститься до 120–130 кг/т расплава.

Принимая участие в совершенствовании минераловатной вагранки на ОАО «Эковер» в период 2010–2012 гг. было достигнуто увеличение производительности агрегата с 4,5–5,0 т/ч до 8,0–9,0 т/ч за счет совершенства ее тепловой работы. При этом удельный расход кокса составил 130–140 кг/т расплава.

Большой объем исследований по совершенствованию тепловой работы печи полимеризации на ряде предприятий (ОАО «БЗТИМ», ОАО Нижне-Тагильский завод теплоизоляционных материалов, ОАО «Красноярский завод теплоизоляционных материалов», ОАО «АК-СИ») позволил создать принципиальный подход к созданию рациональной конструкции высокоэффективного низкотемпературного агрегата. При этом, в зависимости от требований технологии, возможно увеличение производительности печи при снижении удельного расхода топлива, улучшение качества получаемой продукции, снижение объема экологический выбросов. В каждом случае после анализа состояния техники и технологии устанавливался возможный перечень мероприятий по их совершенствованию. При этом неизменно наблюдалось увеличение теплового КПД агрегата до 50–60 %, снижение объема вредных выбросов в атмосферу как минимум в два раза, снижение расхода топлива на 30–40 % при сохранении или улучшении качества тепловой обработки изделий.

УДК 669.013

**А. А. Оленников, В. П. Цымбал**

ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет»,  
г. Новокузнецк, Россия

## **О ПРОБЛЕМЕ ГЛУБОКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ ИСХОДНОГО ТОПЛИВА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ АГРЕГАТОВ**

### **Аннотация**

*Рассмотрены основные задачи по глубокому использованию энергии исходного топлива металлургических агрегатов, включающие утилизацию энергии отходящих газов, использование тепловой энергии от систем гарнисажного охлаждения и систем охлаждения газоходов, соединяющие металлургический агрегат с энергоутилизационными установками и системами газоочистки.*

*Ключевые слова: металлургический агрегат, математическая модель, алгоритм, отходящий газ, утилизация тепла, гидравлические сети.*

### **Abstract**

*The main problems of the deep source of fuel energy use metallurgical units, including energy recovery of waste gases, use of thermal energy from the cooling systems of skull and cooling systems flues soedinyuschie Steel unit with energy-utilizations plants and air pollution control systems.*

*Keywords: Steel unit, mathematical model, algorithm, exhaust gas heat recovery, hydraulic network.*

Черная и цветная металлургия – одни из наиболее энергоемких отраслей промышленности. Доля затрат на топливно-энергетические ресурсы, используемые в металлургических агрегатах при производстве продукции, составляет более 30 % [1]. В процессе работы многих агрегатов наблюдается неэффективность использования энергии исходного топлива. Только с отходящими газами, покидающими рабочее пространство металлургических агрегатов и выбрасываемых в окружающую среду, теряется около половины энергии исходного топлива. Примерно 10–15 % тепловой энергии теряется через стенки агрегатов и из-за неплотностей в газоходах [2].

Такие потери энергии, с одной стороны, приводят к существенному снижению КПД металлургических агрегатов, с другой стороны, наблюдается постоянный рост цен на топливно-энергетические ресурсы. Все это ставит на одно из первых мест проблемы глубокого использования энергии исходного топлива.

В связи с этим разработка математических моделей и алгоритмов их реализации применительно к металлургическим агрегатам позволит решить ряд задач: утилизация вторичной энергии отходящих газов; использование тепловой энергии от систем гарнисажного охлаждения; использование тепловой энергии от систем охлаждения газоходов; сокращение тепловых потерь через стенки металлургических агрегатов за счет оптимального распределения функций использования химической и физической энергии между основным технологическим агрегатом и аппаратами для использования вторичной энергии. При этом изыскание методов рационального расходования топлива путем использования энергии отходящих газов позволяет существенно повысить сквозной коэффициент глубокого использования энергии исходного топлива.

На рис. 1 приведена структура, отражающая комплекс задач, ориентированных на решение глубокого использования энергии исходного топлива металлургических агрегатов.

Рассмотрим каждый блок более подробно. Для оценки параметров выходной продукции металлургического агрегата, работающего по определенной технологии, возникает необходимость в создании моделей на базе материальных и тепловых балансов. На этом этапе определяются параметры выходной продукции металлургического агрегата, а именно: состав получаемого металла и его количество, параметры отходящего газа (объем, температура, давление, качественный состав и режим подачи).

Следующим шагом определяется количество вырабатываемой тепловой энергии системами гарнисажного охлаждения. Здесь стоит выделить следующие задачи:

1) процесс взаимодействия среды и гарнисажа включающий описание физических и химических процессов, протекающих в агрегате, процессы в пограничном слое, включающие

гидродинамические процессы в пристенных слоях и процессы теплопередачи в движущемся расплаве;

2) процесс формирования гарнисажа, включающий динамику формирования гарнисажа (моделирование процессов теплопередачи в стенке агрегата и моделирование кристаллизации расплава) и эволюцию гарнисажа при длительной эксплуатации агрегата;

3) конфигурирование гидравлических сетей для теплоотвода;

4) расчет материального и теплового балансов.

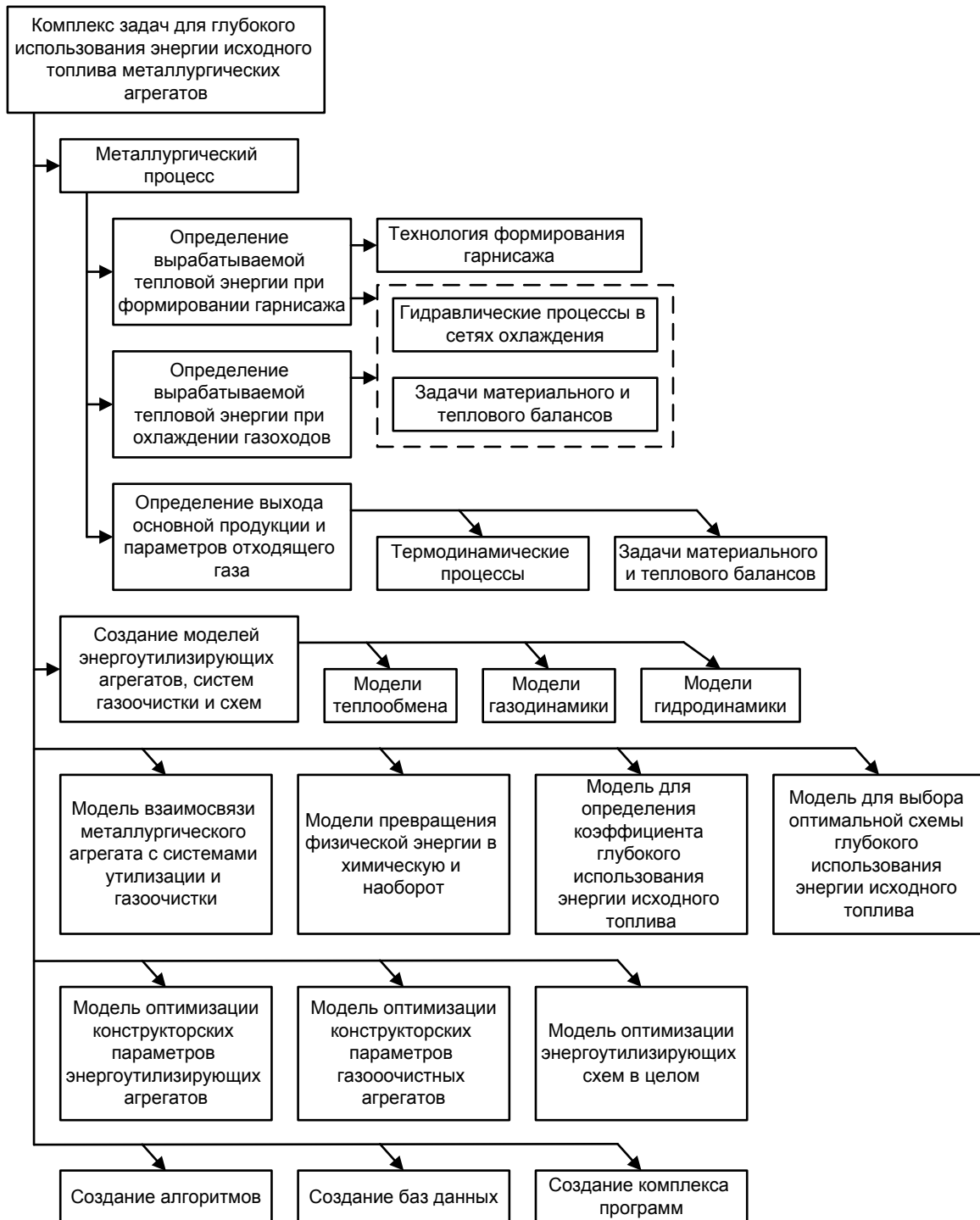


Рис. 1. Структура комплекса задач, ориентированных на решение глубокого использования энергии исходного топлива

Стоит отметить необходимость создания математических моделей энергоутилизирующих и газоочистных систем, выделив три основных уровня [3]:

*Первый уровень:* процессы в отдельных конструктивных элементах теплоиспользующих агрегатов и системах газоочистки (пучках труб, соединительных каналах и т. д.). Здесь в качестве элементарных систем рассматриваются процессы сложного теплообмена [4] между тепловоспринимающими элементами и средами, процессы трения газа о стенки, различные местные сопротивления и т.п.

*Второй уровень:* теплоутилизирующие агрегаты в целом. Они состоят из описанных выше конструктивных элементов. И, следовательно, вид сложной системы этого (второго) уровня зависит от сочетания и способа соединения отдельных конструктивных элементов (систем первого уровня). Примерами сложных систем второго уровня являются: котлы-утилизаторы, газовые турбины, агрегаты кипящего слоя и т. п.

*Третий уровень:* составляют комбинации описанных выше агрегатов в единую схему утилизации энергии. Для примера представим одну из схем утилизации энергии отходящего газа (рис. 2), рассмотренную в работе [3].

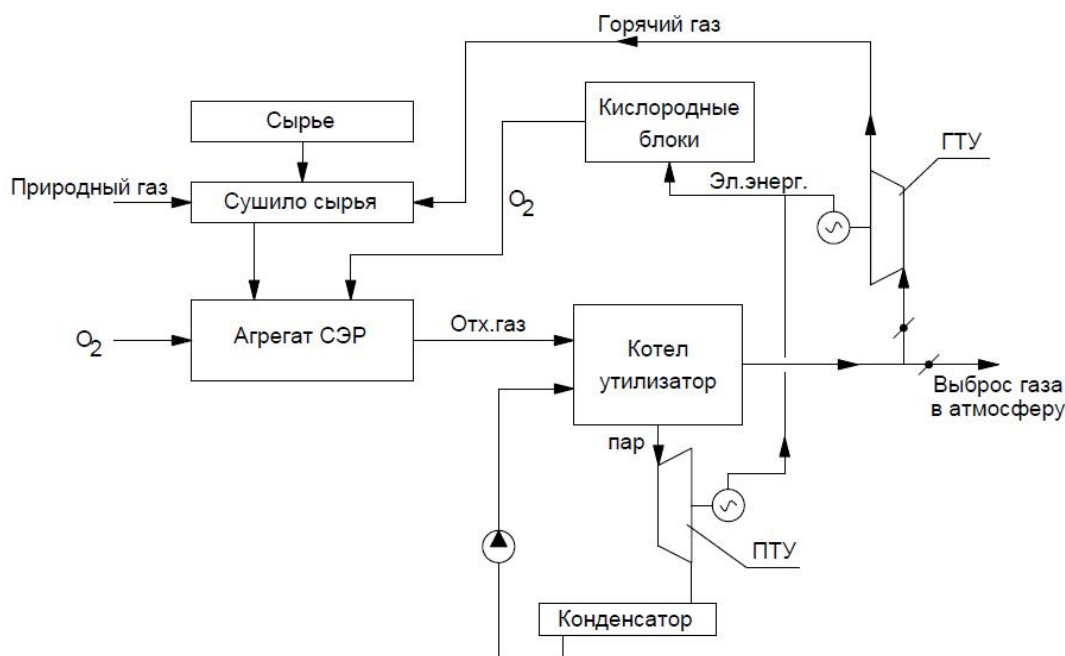


Рис. 2. Пример утилизации энергии отходящих газов

Отходящий газ с температурой порядка  $1600^{\circ}\text{C}$  из агрегата СЭР попадает в котел-утилизатор, где протекает процесс сложного теплообмена между отходящим газом и элементами котла-утилизатора. Под последним следует понимать три ступени, из которых состоит котел: пароперегреватель, конвективные пучки, водяной экономайзер.

В результате в барабане котла-утилизатора создается пароводяная смесь с температурой порядка  $195^{\circ}\text{C}$  и давлении 16 атм. При помощи этой смеси приводится в действие лопаточная паровая турбина, на валу которой установлен электрогенератор. Частота вращения ротора стационарного турбогенератора пропорциональна частоте электрического тока 50 Гц, то есть на двухполюсных генераторах составляет 3000 оборотов в минуту. Частота электрического тока является одним из главных показателей качества отпускаемой электрической энергии и должна соответствовать определенным ГОСТ. После того как отходящий газ вы-

шел из котла-утилизатора, при помощи регулирующих клапанов он может выбрасываться в атмосферу и/или подаваться в газовую турбину, в которой происходит его дожигание. Как и в паровой турбине, здесь установлен электрогенератор. Таким образом, совместно выработанная электроэнергия подается в кислородные блоки, где происходит разложение воздуха на кислород и азот. Выработанный таким образом кислород подается в металлургический агрегат и используется в технологическом процессе. После газовой турбины отходящий газ попадает в сушило сырья, где происходит нагрев лома и топлива, которые подаются в агрегат. Такой вариант использования энергии отходящих газов может утилизировать тепло в пределах 70–85 %.

В следующем блоке рассматривается взаимосвязь систем энергоутилизации и газоочистки с металлургическим агрегатом. На этом этапе устанавливается режимность работы энергоутилизующих устройств.

В зависимости от состава отходящего газа и его параметров, изменяющихся после каждой ступени энергоутилизации, возникает необходимость в создании моделей превращения физической энергии в химическую и наоборот. Например, при дожигании газа может образовываться совершенно иной его состав. Тот же самый эффект можно получить, обогащая газ в реформере, как отмечалось в [5].

Для оценки максимального использования энергии топлива необходимо создание модели, суть которой заключается в определении коэффициента глубокого использования энергии исходного топлива, который в общем виде может быть представлен:

$$\sum \eta_{КПД} = \eta_{АГР}^{ИСП} + \eta_{ГО}^{ИСП} \cdot \eta_{ГО}^{КПД} + \eta_{ОК}^{ИСП} \cdot \eta_{ОК}^{КПД} + \eta_{У1}^{ИСП} \cdot \eta_{У1}^{КПД} + \eta_{У2}^{ИСП} \cdot \eta_{У2}^{КПД} + \dots + \eta_{УN}^{ИСП} \cdot \eta_{УN}^{КПД},$$

где  $\eta_{АГР}^{ИСП}$ ,  $\eta_{ГО}^{ИСП}$ ,  $\eta_{ОК}^{ИСП}$ ,  $\eta_{У1}^{ИСП}$ ,  $\eta_{У2}^{ИСП}$ ,  $\eta_{УN}^{ИСП}$  – соответственно коэффициенты теплоиспользования металлургического агрегата, гарнисажного охлаждения, охлаждения газоходов и последовательно соединенных энергоутилизаторов и газоочистных систем;  $\eta_{ГО}^{КПД}$ ,  $\eta_{ОК}^{КПД}$ ,  $\eta_{У1}^{КПД}$ ,  $\eta_{У2}^{КПД}$ ,  $\eta_{УN}^{КПД}$  – соответственно коэффициенты полезного действия системы гарнисажного охлаждения, системы охлаждения каналов, теплоутилизаторов и газоочистных систем.

Для определения оптимальной схемы глубокого теплоиспользования так же необходима модель, которая даст возможность среди ранее полученных схем энергоутилизации осуществить выбор и предложить наиболее оптимальный вариант [6]. Это возможно при сочетании коэффициента глубокого использования энергии исходного топлива, оценке экономического эффекта, а также приведенных затрат на сооружение и работу комплексной установки.

Для реализации поставленных задач необходимо создание описанных моделей и алгоритмов. На их основе становится возможным разработка комплекса программного обеспечения на основе проблемно-ориентированного подхода к программированию.

Разработанный комплекс может использоваться для: исследования процессов теплообмена, состава и теплофизических параметров газа в газовом тракте и в энергоутилизующих установках; исследования потерь давления в газоходах, последовательно подключенных теплоутилизаторов и систем газоочистки; автоматизированного проектирования вариантов утилизации вторичной энергии отходящих газов металлургических агрегатов, что позволяет ускорить процесс проектирования и повысить точность расчетов; оптимизировать конструкции энергоутилизаторов; проводить вычислительные эксперименты по методике имитацион-

ного моделирования; использоваться для конструктивных расчетов энергоутилизирующих и газоочистных установок. Обязательно создание расширяемых баз данных, которые будут содержать нормативную, конструкторскую, теплофизическую и энергетическую документацию. Особую ценность будут иметь разработанные расширяемые базы данных, содержащие уже выполненные на этом программном комплексе расчеты. Это позволит не только накапливать проекты возможных вариантов энергоутилизации, но и мгновенно выбирать среди них наиболее оптимальный.

#### **Список использованных источников**

1. Войнов А. П., Зайцев В. А., Куперман Л. И., Сидельковский Л. Н. Котлы-утилизаторы и энерготехнологические агрегаты. – М.: Энергоиздат, 1989. – 272 с.
2. Курунов И. Ф., Савчук Н. А. Состояние и перспективы бездоменной металлургии железа. М.: Черметинформация, 2002. – 198 с.
3. Оленников А. А., Цымбал В. П. Варианты и оценка эффективности использования вторичных энергоресурсов для агрегатов жидкофазного восстановления // Изв. вузов. Чер. металлургия. 2008. № 6. С. 43–51.
4. Михеев М. А., Михеева И. М. Основы теплопередачи. 2-е изд., стереотип. М.: Энергия, 1977. – 344 с.
5. Оленников А.А. Математическое моделирование и комплекс программ для решения задач утилизации вторичной энергии отходящих газов металлургических агрегатов струйно-эмульсионного типа: дис. ... канд. техн. наук : 05.13.18. – Новокузнецк, 2009. – 129 с.
6. Оленников А. А., Цымбал В. П. Комплекс моделей и программ для оптимизации вторичной энергии металлургических процессов прямого восстановления // Творческое наследие Б. И. Китаева: труды междунар. науч.-практ. конф. (11–14 февраля 2009 г.). Екатеринбург: УГТУ–УПИ, 2009. – С. 232–236.

УДК 669.042

**Б. Н. Парсункин, С. М. Андреев, Б. К. Сеничкин, О. С. Логунова**

ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет имени Г.И. Носова», г. Магнитогорск, Россия

## **СНИЖЕНИЕ УДЕЛЬНОГО КОЛИЧЕСТВА КОКСА ПРИ ОПТИМИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ПОДАЧЕЙ ПРИРОДНОГО ГАЗА В ДОМЕННУЮ ПЕЧЬ**

#### **Аннотация**

*В работе рассмотрено решение задачи динамической оптимизации управления подачей природного газа в доменную печь с целью минимизации удельного количества кокса на тонну выплавленного чугуна в условиях использования технологического кислорода на обогащение дутья.*